УДК 553.411.071.242.4+550.4

СИНГЕНЕЗ ОКОЛОРУДНЫХ МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ В МЕЗОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЗОЛОТА

И.В. Кучеренко

Томский политехнический университет
E-mail: lev@tpu.ru

Обсуждаются составляющие предмет дискуссии представления о пространственных и причинно-следственных соотношениях околорудных метасоматических и геохимических ореолов в гидротермальных, в том числе золотых месторождениях. В качестве примера приведены результаты изучения тех и других ореолов, образованных в ультраметаморфических гранитах Ирокиндинского рудного поля, и в сравнительном с ранее опубликованными данными аспекте показаны общие черты, свойственные ореолам золотых мезотермальных месторождений, локализованных в несланцевом и черносланцевом субстрате. В частности, во всех рассмотренных случаях геохимические ореолы занимают меньшие сравнительно с околорудными метасоматическими объемы в сопряжении с рудными жилами и минерализованными зонами. Сделан вывод о генетической связи геохимических ореолов (аномалий) с метасоматическими ореолами и образовании их в околорудном пространстве месторождений как производных рудообразующих процессов.

Введение

Изучение геохимических полей в околорудном пространстве, в том числе объемных и причинно-следственных соотношений околорудных метасоматических и геохимических ореолов в гидротермальных месторождениях вообще и в золоторудных, в частности, представляет интерес в нескольких аспектах.

Во-первых, еще не факт, что те и другие ореолы, представляя один геологический рудообразующий процесс, всегда пространственно совпадают в полном объеме. Наиболее типичным примером несовпадения служат скарновые месторождения, включая золотые, в которых формирующая геохимические ореолы металлов поздняя сульфидная минерализация нередко выходит за пределы ранних скарновых залежей по причине изменения путей движения металлоносных растворов вследствие многократной разрядки тектонических напряжений посредством возникновения новых внутриминерализационных разломов и трещин – аккумулирующих растворы структур повышенной проницаемости. Подобные явления отмечаются в гидротермальных месторождениях других рудных формаций – редкометальной грейзеновой, золото-уран-полиметаллической березитовой и иных. Однако надо констатировать, что в объектах кварцево-жильных и типа минерализованных зон преобладает подновление ранее образованных, прежде всего рудовмещающих, разломов, выполненных поэтому и, как правило, полным набором минеральных комплексов в сопровождении околорудно измененных пород и аномалий рудогенных элементов, пространственные и причинно-следственные соотношения которых остаются во многом дискуссионными.

Существует устойчивое мнение, что аномальные геохимические поля выходят за пределы околорудных метасоматических ореолов с постепенными переходами в породы с кларковыми содержаниями рудогенных элементов [1, 2]. В противоположность этому активно пропагандируется идея, согласно которой рудные поля представляют собой овеществленный результат функционирования геохимических систем, включающих сопряженные крупнообъемные области выноса и привноса химических элементов, причем внешние обычно резкие границы отрицательных ореолов не совпадают с геологическими границами и геологическими структурами [3–7]. В последнем случае отрицательные ореолы, по версии авторов идеи, служат источниками сосредоточенных в рудах металлов. По-прежнему популярно в среде некоторых специалистов представление, особенно в приложении к рудовмещающим углеродистым сланцам, об образовании месторождений в толщах, обогащенных рудогенными элементами (золотом, оловом и другими) и о перемещении при рудообразовании сверхкларковых их масс в формирующиеся месторождения [6–12]. Естественно, то или иное решение проблемы оказывает существенное, если не определяющее, влияние и на содержание геохимического критерия прогноза оруденения, а, следовательно, – на эффективность поисков.

Во-вторых, породы в околорудном пространстве и фиксируемые, в частности, аномальные концентрации химических элементов в них могут представлять и обычно представляют суммарный результат воздействия на первоначальный субстрат нескольких процессов. Каждый из них вносил свою лепту в пере-

распределение в породах петрогенных и рудогенных элементов. Чтобы реконструировать и понять их геохимическую историю, выявить вероятные источники рудогенных элементов, требуется изучать концентрации (содержания) последних в тесной связи с минерально-породными ассоциациями, представляющими каждый из этих процессов, посредством формирования выборок для статистических расчетов по адекватной системе, на что обращалось внимание ранее [13–18]. Противоречивость суждений о природе геохимических аномалий есть следствие автономизации геохимических ореолов от поэтапных минерально-породных ассоциаций, что объективно оправдано большими объемами поискового геохимического опробования при диагностике опробуемых пород обычно в общем виде (граниты, березиты, сланцы и др.,) без детальных петрологических (петрохимических) исследований субстрата каждой геохимической пробы. Последнее потребовало бы значительных затрат времени и средств. В этих условиях делается акцент на изучение структуры геохимических полей и поиски геохимических показателей, которые могли бы составить основу для прогноза. Однако то, что, вероятно, пригодно для поисковых целей, недостаточно для решения генетических проблем.

В третьих, дифференциация минерально-породных ассоциаций на дорудные и созданные в процессе рудообразования с диагностикой геохимической специализации тех и других способствует доказательству генетических связей околорудных геохимических аномалий с околорудными метасоматическими ореолами или отсутствия таковых. Получаемая информация дополняет совокупность фактов, раскрывающих геологические причины рудообразования и обеспечивающих понимание сущности процессов в целом. Последнее служит наиболее полной и разносторонней, а, следовательно, и наиболее ценной основой для разработки комплекса критериев прогнозирования оруденения. Эта, как представляется, аксиома очевидна не всем [19]. Геохимический критерий в этом комплексе представляет хотя и важную, но лишь составную часть.

В плане решения геолого-генетических проблем гидротермального рудообразования с учетом приведенных соображений задача заключается в том, чтобы исследовать условия формирования геохимических полей в сложенном разным субстратом околорудном пространстве на литолого-петролого-химической основе.

Ранее автором приведены данные о структуре геохимических полей, распределении и причинах (условиях) накопления золота и некоторых других рудогенных элементов в толщах протерозойских углеродистых терригенных сланцев кедровской и водораздельной свит в объемах соответственно Кедровского и Каралонского месторождений, в гнейсах Муйского выступа архейского фундамента в объеме Ирокиндинского месторождения Северного Забайкалья [13, 17, 18]. Для дальнейшей реализации обозначенной установки в данном сообщении приведены и обсуждаются новые материалы, раскрывающие минералого-петрохимическую и геохимическую ситуацию во вмещающих золоторудные кварцевые жилы ультраметаморфических гранитоидах Ирокиндинского рудного поля, а результаты сопоставлены с полученными ранее.

1. Методика исследований

Позднепалеозойское мезотермальное Ирокиндинское рудное поле кварцево-жильного типа расположено в Южно-Муйском хребте на юго-западной окраине Муйского выступа ультраметаморфитов архейского фундамента в лежачем боку ограничивающей выступ Килянской зоны глубинных разломов. Его геологическое строение детально описано в [20]. Рудовмещающий блок сложен чередующимися деформированными до плойчатости пластами и пачками полосчатых, местами в разной степени мигматизированных парагнейсов, кальцифиров, амфиболитов. Ультраметаморфические граниты образуют сложной формы тела, постепенно переходящие в мигматиты и далее в мигматизированные гнейсы. Золоторудные жилы разведаны системами штолен и многочисленными рассечками и горизонтальными скважинами подземного поискового бурения. Последние вскрывают породы лежачего и висячего боков на расстояния до 300 м.

Пробы многоцелевого назначения массой в среднем 1,5 кг отобраны из всех видов горных пород по разрезам, ориентированным вкрест простирания рудных жил и представляют каждый вид во всех минеральных зонах околожильных метасоматических ореолов и в межореольном пространстве. Предварительно раздробленные вручную до мелких обломков породы измельчались в виброистирателе до фракции пудры (200 меш) партиями с ожидаемыми, по результатам анализов подтвержденными содержаниями золота 0,5...10, 10...100, более 100 мг/т. После каждой операции истирания стаканы и пестики из титанового сплава тщательно промывались. Из проб отбирались навески для анализов. Каждая проба сопровождается одним – тремя прозрачными шлифами.

Анализы на золото и серебро всего массива проб (1500) выполнены методом атомной абсорбции с пределом обнаружения 0,1 мг/т в лаборатории ядерно-физических методов анализа ОИГГиМ СО РАН (г. Новосибирск, аналитик В.Г. Цимбалист), для контроля (15 % от всего объема проб) – методом атомной абсорбции (там же), химико-спектральным на золото с пределом обнаружения 0,3 мг/т (ПГО «Читагеология») и нейтронно-активационным на золото с пределом обнаружения 0,1 мг/т в лаборатории ядерно-физических методов анализа НИИ ядерной физики при Томском политехническом университете. Выполненные расчеты показали удовлетворительную сходимость результатов первичных и контрольных анализов [17]. В частности, по данным внутреннего контроля средняя относительная ошибка по разностям двойных

измерений не превышает для интервала содержаний золота 0,5...10 мг/т 23 %, для интервала содержаний 10...100 мг/т – 26 %. По итогам внешнего контроля химико-спектральным методом указанная ошибка составляет соответственно 51 и 61 %, а для проб с содержаниями более 100 мг/т достигает 78 %. По итогам внешнего контроля нейтронно-активационным анализом относительная ошибка составляет 23 % в интервале содержаний 0,5...10 мг/т. Относительная ошибка определения содержаний серебра по данным внутреннего контроля для интервалов 0,5...10, 10...100, более 100 мг/т не превышает соответственно 11, 13, 18 %. Содержание ртути определялось методом атомной абсорбции (чувствительность $1\cdot10^{-7}$ %), других рудогенных элементов – приближенно-количественным спектральным методом в ЦЛ ПГО «Березовгеология», г. Новосибирск, под руководством Н.А. Чарикова.

Для расчета баланса петрогенных элементов в околожильных метасоматических ореолах полные химические силикатные анализы горных пород, выполненные в Западно-Сибирском испытательном центре (г. Новокузнецк) под руководством И.А. Дубровской, пересчитывались по объемно-атомному методу. Геохимические выборки для статистических расчетов, согласно принятым и описанным принципам [13–16, 18], формировались на петрохимической основе и представляют ультраметаморфические породы (виды), в данном случае гранит и лейкогранит, вне околожильных метасоматических ореолов и те же породы в каждой минеральной зоне последних. Состав исходных для ультраметаморфизма архейских пород не реконструировался в силу низкой достоверности результатов.

2. Минеральная зональность и петрохимические черты околожильных метасоматических ореолов

Ультраметаморфические гранитоиды локализованы преимущественно в мощных пачках альмандин-двуслюдяных гнейсов в форме крупных, до нескольких десятков м в поперечнике, линзовидных тел, жил, прожилков, пятнообразных выделений с постепенными переходами в мигматиты. Породам свойственны светло-серый, розово-серый цвет, массивная текстура, неравнозернистые, от аплитовой до пегматоидной, преобладающе гипидиоморфная структуры. Минеральный состав: кварц (25...45 %), олигоклаз – кислый андезин (№ 20–42) в переменных количественных соотношениях с микроклином; второстепенные минералы – обыкновенная роговая обманка ($-2V=84°$; $C:N_g=16°$, опт. знак –, $N_g=1,654$, $N_p=1,630$), иногда бурый биотит, мусковит; примеси – альмандин ($1,827<N<1,834$), магнетит, сфен. По минералого-химическому составу породы отвечают граниту, лейкограниту, близким к нормативным (табл. 1) [21].

Околожильные зональные метасоматические ореолы, обрамляющие соседние золоторудные жилы, имеют мощность до нескольких сотен м, сопоставимую с половиной междужильных интервалов, вследствие чего сливаются друг с другом, образуя единый крупнообъемный ореол рудного поля. Однако останцы не затронутых изменениями слаботрещиноватых пород сохраняются и в непосредственной близости (метры) от жил и в этом случае обрамляются маломощными (см, десятки см) минеральными зонами, порядок смены которых повторяет крупномасштабную зональность. В апогранитных, как и в других породах, ореолы включают пять минеральных зон (подчеркнуты минералы, исчезающие в более тыловой зоне).

Внешняя: серицит ± кварц ± кальцит ± лейкоксен ± рутил ± пирит ± альбит ± хлорит ±цоизит; исходные амфибол (биотит);

Хлоритовая: серицит + кварц ± кальцит ± доломит + лейкоксен+рутил+ пирит + магнетит + альбит, ± хлорит ± цоизит – эпидот;

Альбитовая: серицит + кварц + кальцит + доломит – анкерит + лейкоксен + рутил + пирит + магнетит + апатит + альбит;

Тыловая: кварц + кальцит + доломит – анкерит ± сидерит + лейкоксен + рутил + пирит + магнетит + апатит + серицит;

Осевая: золоторудная кварцевая жила – кварц + карбонаты + сульфиды + золото.

Мощность минеральных зон в общем случае последовательно возрастает от тыловой (см – десятки см) до альбитовой (десятки см), далее до хло-

Таблица 1. *Химические составы ультраметаморфических гранита и лейкогранита Ирокиндинского рудного поля (межореольное пространство и подзона слабого изменения внешней зоны околожильных метасоматических ореолов)*

Расстояние от золоторудных жил, м	Содержание, мас. %														Σ
	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	Na_2O	S сульфид.	CO_2	CaO	MgO	FeO	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	P_2O_5	H_2O^+	
61,0	70,46	15,78	2,56	4,00	0,00	0,04	2,69	0,48	2,21	0,11	0,30	0,02	0,02	0,37	99,04
56,0	72,03	13,60	3,90	3,20	0,05	0,01	1,74	0,45	2,17	0,31	0,22	0,04	0,05	0,41	98,18
41,0	72,76	15,06	5,78	3,66	0,00	0,40	0,90	0,48	0,21	0,89	0,04	0,01	0,01	0,14	100,34
65,0	73,06	13,87	4,00	3,00	0,05	0,02	1,63	0,36	1,51	0,49	0,18	0,02	0,02	0,61	98,82
19,2	73,07	12,98	5,70	1,69	0,05	0,01	2,03	0,53	1,55	0,60	0,44	0,02	0,05	0,40	99,12
12,4	75,57	13,78	2,60	4,00	0,11	0,01	2,03	0,16	0,80	0,48	0,11	0,01	0,01	0,26	99,93
21,2	76,54	12,91	3,04	3,22	0,00	0,26	1,79	0,48	1,15	0,97	0,11	0,12	0,01	0,06	100,66

ритовой (м – десятки м) и внешней (до сотен м). Особенности минеральных замещений аналогичны описанным ранее в других породах рудного поля [17]. Отметим, что интенсивность минеральных преобразований усиливается в каждой минеральной зоне от ее внешней границы к тыловой. Особенно это заметно во внешней зоне, которая дифференцирована на подзоны слабого, умеренного, интенсивного изменения с объемом минеральных новообразований соответственно до 10, 10...20, 20...30 %. В подзоне слабого изменения на фронте ореола, в частности, фиксируются редкие чешуйки серицита, «оспенные» выделения цоизита в плагиоклазе, фрагменты каемок хлорита на границах зерен амфибола и чешуек биотита, иногда единичные мельчайшие зерна кальцита, пирита. Изменения настолько несущественны, что порода здесь может быть идентифицирована со свежим гранитом в межореольном пространстве.

Существо и направленность химических преобразований пород в минеральных зонах и в ореолах в целом в усредненном варианте показаны в табл. 2. Коэффициенты рассчитаны относительно неизмененных (межореольное пространство) и слабо измененных (подзона слабого изменения внешней зоны) ультраметаморфических гранита и лейкогранита (7 проб).

Величина Δ на уровне первых % отражает, вероятно, в большей степени неравномерность распределения в исходных породах петрогенных компонентов и ошибки анализа. Поэтому можно констатировать исчезающе малое изменение валового химического состава пород во внешней зоне, обусловленное околожильным метасоматизмом. Такое изменение нарастает в направлении тыловой зоны, достигая в последней максимума. Это согласуется с «поведением» отдельных петрогенных компонентов. Перераспределяются щелочи с почти полным выносом натрия, в ореолы поступают значительные массы углекислоты и большинства металлов. Незначителен вынос кремния, привнос калия. Сера в исходных гранитах отсутствует, на фронте ореолов содержание ее минимально (сотые доли %), но несколько выше в подзоне слабого изменения, поэтому возникла иллюзия перемещения ее из внешней и хлоритовой зон в тыловые. По аналогии с другими породами рудного поля, в которых снижение содержания серы в периферийных зонах не фиксируется [17], следует констатировать поступление восстановленной серы с флюидами, особенно массированное в тыловые зоны. Содержание калия, более высокое в выборке случайных величин, представляющей межореольное пространство и подзону слабого изменения внешней зоны, создало иллюзию выноса в тыловые зоны этого элемента, который в апогнейсовые ореолы всегда поступает с флюидами в количествах тем больших, чем ниже его содержание в исходных породах.

3. Рудогенные элементы в околожильном пространстве

Наиболее низкие содержания благородных и цветных металлов фиксируются в слабо измененных граните и лейкограните внешней зоны околожильных метасоматических ореолов (табл. 3), которые, судя по единичным пробам, свойственны также свежим, то есть не затронутым околожильными изменениями породам в межореольном пространстве и в останцах.

Средние, значимо отличные от предыдущих содержания золота возрастают с хлоритовой зоны и увеличиваются до максимальных значений в тыловой зоне при возрастании в этом же направлении неравномерности распределения (табл. 4, рисунок). В общем аналогично золоту распределение серебра, концентрация которого хотя и снижается в хлоритовой зоне, но заметно возрастает в тыловых с одновременным усилением степени неравномерности содержаний, особенно в собственно тыловой зоне. В тыловых же зонах возникает прямая корреляционная связь серебра с золотом, наиболее сильная в непосредственном обрамлении рудных жил. Au/Ag отношение, в свежих породах и во внешней зоне ореолов демонстрирующее обычное заметное преобладание содержаний серебра, кларк которого на порядок выше кларка золота, в более тыловых зонах резко возрастает.

В субкларковых количествах в основных объемах ореолов присутствует ртуть, которой обогащены только метасоматиты тыловой зоны. Сравнительно равномерно на субкларковых уровнях распределено в разрезах ореолов большинство других цветных металлов. Лишь в тыловой зоне возрастают вдвое содержания кобальта, цинка, мышьяка с синхронным усилением степени неравномерности их распределения; последнее свойственно и свинцу. Это отражает эпизодическое, в немногих про-

Таблица 2. *Коэффициенты распределения петрогенных элементов в минеральных зонах околожильных метасоматических ореолов, образованных в ультраметаморфических гранитоидах Ирокиндинского рудного поля*

Минеральные зоны и подзоны, в скобках число проб		Химические элементы															Δ
		Si	Al	K	Na	S сульфид.	$C_{кб}$	Ca	Mg	Fe^{2+}	Fe^{3+}	Ti	Mn	P	H (H_2O^+)	O	
Внешняя	Умеренного изменения (5)	1,0	1,0	0,9	1,0	0,2	2,5	1,1	1,2	0,9	1,3	0,8	0,5	0,8	1,9	1,0	1,2
	Интенсивного изменения (6)	1,0	1,0	0,9	1,1	0,3	4,9	1,7	1,5	1,1	2,1	0,9	1,5	1,1	1,3	1,0	3,1
Хлоритовая (10)		0,9	1,1	0,6	1,6	0,1	11	1,6	1,6	0,9	1,7	0,6	0,9	1,5	2,5	1,0	7,6
Альбитовая (9)		1,0	1,1	0,8	1,0	7,6	17	1,0	1,7	1,0	1,6	1,2	1,6	1,8	3,7	1,0	4,7
Тыловая (8)		0,9	1,1	1,2	0,1	20	51	2,6	3,3	1,6	3,6	2,4	1,7	3,9	5,8	1,1	17,3

Δ – удельная масса перемещенного (привнесенного и вынесенного) вещества в % к массе вещества исходной породы в стандартном геометрическом объеме 10000 $Å^3$

Таблица 3. *Оценка параметров распределения рудогенных элементов и корреляционных связей золота с рудогенными элементами в минеральных зонах околожильных метасоматических ореолов, образованных в ультраметаморфических гранитоидах Ирокиндинского рудного поля*

Элементы	Параметры распределения	Минеральные зоны, в скобках число проб					
		Внешняя			Хлоритовая (49)	Альбитовая (99)	Тыловая (24)
		Слабого изменения (28)	Умеренного изменения (10)	Интенсивного изменения (17)			
Au	$\bar{x}g(\bar{x})$	0,6(0,7)	0,6(0,7)	0,6(0,7)	1,5(1,7)	6,4(23,2)	50,7(335,2)
	$t(s)$	1,6(0,4)	1,4(0,2)	1,4(0,2)	1,8(0,9)	4,9(45,7)	10,6(688,3)
Ag	$\bar{x}g(\bar{x})$	47,9(70,3)	58,9(77,2)	47,3(54,8)	19,0(26,1)	96,8(122,9)	158,5(318,5)
	$t(s)$	2,4(71,6)	2,4(50,2)	1,8(27.3)	2,3(19,8)	2,2(78,2)	3,1(513,4)
	$r(sr)$	0,18(0,27)	-0,08(0,35)	0,28(0,28)	−0,37(0,22)	**0,40(0,15)**	**0,81(0,10)**
	Au/Ag	0,01	0,01	0,01	0,08	0,07	0,32
Hg	$\bar{x}g(\bar{x})$	20,6(24,1)	21,8(28,3)	16,2(30,1)	17,1(19,6)	27,8(41,0)	34,5(41,1)
	$t(s)$	1,7(16,6)	2,2(20,9)	2,5(55,1)	1,7(11,8)	2,4(45,9)	2,0(22,0)
	$r(sr)$	−0,15(0,27)	**−0,58(0,24)**	−0,20(0,29)	**0,49(0,20)**	0,14(0,18)	0,02(0,23)
V	$\bar{x}g(\bar{x})$	20(30)	20(40)	20(30)	20(30)	20(30)	40(50)
	$t(s)$	2,1(30)	2,4(40)	2,4(30)	2,4(40)	2,8(30)	2,0(40)
	$r(sr)$	−0,21(0,27)	−0,04(0,35)	0,40(0,25)	−0,33(0,23)	0,03(0,18)	0,06(0,23)
Ni	$\bar{x}g(\bar{x})$	10(10)	20(20)	20(20)	10(20)	10(20)	20(30)
	$t(s)$	1,4(4)	2,2(30)	1,9(20)	1,7(10)	2,6(10)	2,0(30)
	$r(sr)$	**0,51(0,21)**	0,03(0,35)	0,08(0,30)	0,16(0,25)	0,16(0,18)	−0,001(0,23)
Co	$\bar{x}g(\bar{x})$	2(2)	3(7)	3(6)	3(6)	2(3)	5(8)
	$t(s)$	2,0(2,0)	3,9(10)	3,6(7,0)	3,2(8,0)	2,5(5,0)	3,1(8,0)
	$r(sr)$	−0,16(0,27)	−0,21(0,34)	0,26(0,28)	−0,21(0,25)	**0,39(0,16)**	0,21(0,22)
Cu	$\bar{x}g(\bar{x})$	30(40)	30(40)	30(40)	30(30)	30(30)	40(50)
	$t(s)$	1,5(20)	1,5(10)	1,5(20)	1,5(10)	1,6(30)	1,8(60)
	$r(sr)$	−0,13(0,27)	0,12(0,35)	−0,14(0,30)	0,22(0,25)	0,06(0,18)	0,15(0,22)
Pb	$\bar{x}g(\bar{x})$	40(50)	30(30)	30(30)	30(40)	30(40)	50(200)
	$t(s)$	1,6(30)	1,8(30)	1,7(10)	2,1(30)	1,9(30)	3,1(800)
	$r(sr)$	−0,22(0,26)	**0,52(0,26)**	−0,39(0,26)	0,05(0,26)	0,07(0,18)	0,36(0,20)
Zn	$\bar{x}g(\bar{x})$	40(60)	50(60)	40(40)	40(50)	40(60)	80(300)
	$t(s)$	1,9(70)	1,9(40)	1,4(20)	1,8(60)	2,0(100)	3,8(700)
	$r(sr)$	0,11(0,27)	0,02(0,35)	0,30(0,27)	0,33(0,23)	**0,35(0,16)**	**0,47(0,18)**
As	$\bar{x}g(\bar{x})$	20(20)	20(20)	н.д.	н.д.	20(20)	40(60)
	$t(s)$	1,3(8,0)	1,2(6,0)	н.д.	н.д.	1,3(10)	2,4(60)
	$r(sr)$	0,16(0,27)	−0,09(0,35)	н.д.	н.д.	**0,52(0,13)**	0,23(0,22)

Примечание: 1) $\bar{x}g(\bar{x})$ *– среднее соответственно геометрическое и арифметическое содержание, мг/т (Au, Ag, Hg), г/т (остальные элементы);* t *– стандартный множитель,* s *– стандартное отклонение, мг/т (Au, Ag, Hg), г/т (остальные элементы);* r *– коэффициент парной линейной корреляции элементов с золотом, выше уровня значимости обозначен полужирным шрифтом,* sr *– стандартное отклонение коэффициента корреляции; н.д. – нет данных. 2) Расчеты выполнены Н.П. Ореховым*

бах, присутствие в метасоматите, обрамляющем рудные жилы, вкрапленников галенита, сфалерита, а также эпизодическое обогащение породы мелкими кристаллами кобальт-мышьяк-содержащего пирита. Преобладающе в тыловых зонах положительные корреляционные связи с золотом обнаруживают кобальт, цинк, мышьяк, во внешних зонах фрагментарные связи с золотом свойственны ртути, никелю, свинцу.

4. Краткое обсуждение результатов и выводы

Ультраметаморфические архейские гранитоиды фундамента подверглись эпигенетическим изменениям на позднепалеозойском этапе воздействия на них металлоносных растворов и рудообразования. По существу минералого-химических преобразований пород, структуре (порядку минеральной зональности), составу тыловых зон апогранитные крупнообъемные околожильные метасоматические ореолы аналогичны апогнейсовым и апочерносланцевым ореолам других рудных полей Северного Забайкалья [13, 17, 18, 22] и принадлежат березитовой метасоматической формации.

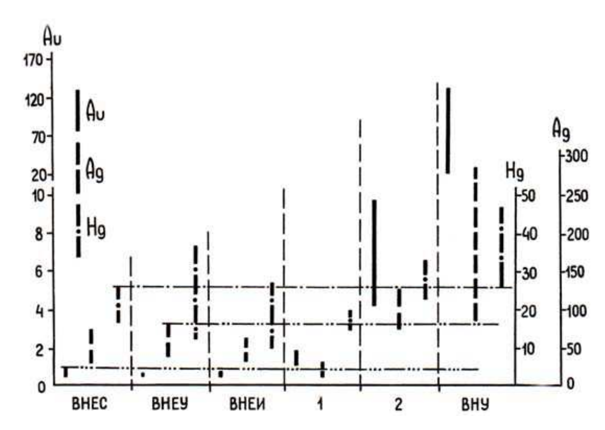


Рисунок. *Доверительные интервалы колебаний среднего геометрического содержания золота, серебра, ртути (мг/т) в минеральных зонах околожильных метасоматических ореолов, образованных в ультраметаморфических граните и лейкограните Ирокиндинского рудного поля (при 5 % уровне значимости).*

ВНЕС, ВНЕУ, ВНЕИ – подзоны слабого, умеренного, интенсивного изменения внешней зоны; 1,2, ВНУ – хлоритовая, альбитовая, тыловая зоны

Околожильные геохимические ореолы, как и в упомянутых рудных полях, вписываются в околожильные метасоматические, занимая значительно меньшие объемы, главным образом, – в пределах относительно малообъемных хлоритовой и тыловых зон. Наиболее контрастно распределение золота и серебра, содержание которых в отдельных пробах березитов достигает промышленных значений – г/т породы. Чутко реагирует на обогащение золотом метасоматитов в непосредственном обрамлении рудных жил Au/Ag отношение, величина которого здесь соразмерна рудным значениям (0,5...1,5) при том, что на крупнообъемной периферии метасоматических ореолов в едва затронутых изменениями и не измененных гранитоидах оно отражает на порядок отличное содержание того и другого металла на субкларковых уровнях. Обогащение апогранитных березитов ртутью также согласуется с концентрацией ее в тыловых зонах апогнейсовых [17] и апочерносланцевых [17, 18] метасоматических ореолов и с высоким (до процентов) содержанием ее в золоте и отчасти в метасоматическом пирите.

Цветными металлами – спутниками золота околожильные ореолы обогащены только в тыловых зонах в обрамлении рудных столбов и неравномерно. Субкларковые их содержания в березитах сочетаются с концентрациями, на один-два порядка превышающими кларковые для гранитов. Это почти не отражается на среднем геометрическом их содержании, но выражается в возрастании величины стандартного множителя и стандартного отклонения.

Таблица 4. *Оценка значимости различий параметров логнормального распределения золота (а), серебра (б), ртути (в) (среднего арифметического и стандартного отклонения логарифмов содержаний) в минеральных зонах околожильных метасоматических ореолов, образованных в ультраметаморфических граните и лейкограните Ирокиндинского рудного поля (для 5 % уровня значимости)*

t-критерий

а)

Минеральные зоны, подзоны, в скобках число проб	Внешняя			Хлоритовая (22)	Альбитовая (60)	Тыловая (24)
	Слабого изменения (16)	Умеренного изменения (20)	Интенсивного изменения (17)			
f-критерий, Внешняя: Слабого изменения (16)		0,4371 / 2,04	0,3577 / 2,04	**4,5862** / 2,03	**5,6146** / 2,00	**7,2272** / 2,02
f-критерий, Внешняя: Умеренного изменения (20)	2,0436 / 2,61		0,0556 / 2,03	**5,9309** / 2,02	**6,4748** / 1,99	**8,2527** / 2,02
f-критерий, Внешняя: Интенсивного изменения (17)	1,7027 / 2,78	1,2002 / 2,60		**5,4092** / 2,02	**5,9495** / 2,00	**7,5836** / 2,02
Хлоритовая (22)	1,3477 / 2,74	**2,7541** / 2,49	2,2947 / 2,66		**4,2369** / 1,99	**6,8629** / 2,02
Альбитовая (60)	**10,9105** / 2,52	**22,2967** / 2,26	**18,5773** / 2,44	**8,0959** / 2,18		**4,6543** / 1,99
Тыловая (24)	**23,9692** / 2,71	**48,9836** / 2,46	**40,8125** / 2,64	**17,7859** / 2,38	**2,1969** / 1,88	

б)

Минеральные зоны, подзоны, в скобках число проб	Внешняя			Хлоритовая (18)	Альбитовая (35)	Тыловая (14)
	Слабого изменения (16)	Умеренного изменения (19)	Интенсивного изменения (16)			
f-критерий, Внешняя: Слабого изменения (16)		0,6926 / 2,04	0,0413 / 2,04	**3,0850** / 2,04	**2,8392** / 2,01	**3,2637** / 2,05
f-критерий, Внешняя: Умеренного изменения (19)	1,0490 / 2,66		0,8461 / 2,04	**3,9878** / 2,03	**2,1327** / 2,01	**2,8647** / 2,05
f-критерий, Внешняя: Интенсивного изменения (16)	2,2188 / 2,86	2,1151 / 2,78		**3,5695** / 2,04	**3,2203** / 2,01	**3,7619** / 2,05
Хлоритовая (18)	1,1029 / 2,72	1,0514 / 2,64	2,0118 / 2,80		**6,9238** / 2,01	**6,1065** / 2,04
Альбитовая (35)	1,2778 / 2,25	1,2181 / 2,20	1,7364 / 2,61	1,1586 / 2,25		1,7466 / 2,01
Тыловая (14)	1,5628 / 2,94	1,6394 / 2,73	**3,4675** / 2,93	1,7236 / 2,80	1,9970 / 2,36	

в)

Минеральные зоны, подзоны, в скобках число проб	Внешняя			Хлоритовая (51)	Альбитовая (94)	Тыловая (20)
	Слабого изменения (28)	Умеренного изменения (9)	Интенсивного изменения (12)			
f-критерий, Внешняя: Слабого изменения (28)		0,2446 / 2,03	1,0233 / 2,02	1,5073 / 2,00	1,7127 / 1,98	**2,9203** / 2,01
f-критерий, Внешняя: Умеренного изменения (9)	2,0358 / 2,70		0,7824 / 2,09	1,2106 / 2,00	0,8014 / 1,99	1,6152 / 2,05
f-критерий, Внешняя: Интенсивного изменения (12)	**2,6472** / 2,50	1,3003 / 4,25		0,2627 / 2,00	1,9889 / 1,99	**2,7045** / 2,04
Хлоритовая (51)	1,1681 / 1,90	2,3780 / 2,47	**3,0921** / 2,30		**4,2211** / 1,97	**4,7603** / 2,00
Альбитовая (94)	**2,5581** / 1,96	1,2566 / 3,74	1,0348 / 2,20	**2,9881** / 1,70		1,0279 / 1,98
Тыловая (20)	1,4938 / 2,27	1,3628 / 2,95	1,7721 / 2,77	1,7449 / 2,02	1,7124 / 2,18	

Числа над чертой – значения расчетные, под чертой – табличные на критическом уровне, жирным шрифтом – различия значимы

Перечисленные факты служат указанием на то, что околожильные геохимические ореолы генетически связаны с околожильными метасоматическими: синхронно с усилением степени минералого-химических преобразований пород по мере приближения к рудным жилам контрастность геохимических ореолов и другие показатели распределения металлов усиливаются. Следовательно, те и другие ореолы суть производные одного гидротермального рудообразующего процесса. В свою очередь, из приведенных фактов следует, что исходные боковые породы в объемах околорудных метасоматических ореолов, тем более – межореольного пространства, обладая субкларковыми содержаниями рудогенных элементов, не могли служить их источниками.

Обогащались ореолы посредством миграции металлов на весьма малые расстояния от стволовых рудовмещающих, по всем признакам и растворо-подводящих разломов. Это означает, что источниками сосредоточенного в рудах и ореолах золота и

сопровождающих его металлов служили поступавшие по разломам металлоносные растворы.

На примере Ирокиндинского и других упомянутых выше рудных полей можно видеть, что приведенные факты и выводы не согласуются с представлениями о рассеивании металлов от рудных тел за пределы околорудных метасоматических ореолов, равно как и с утверждениями о существовании в не затронутых метасоматизмом породах областей их выноса. Представляется маловероятным вынос значительных масс металлов, даже с привлечением «механизма электрохимического переноса» [5, 6, 19], без участия растворов, способных освободить их из минерального «заточения» без растворения минералов – носителей благородных и других металлов, а, следовательно, без вещественных следов замещения – минеральных новообразований, которые вне околорудных метасоматических ореолов не фиксируются как в пределах рудных полей, так и на значительных расстояниях от них.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кременецкий А.А., Мицнер Э.Ф. Универсальность эволюции золоторудных систем – ключевой критерий регионального прогноза промышленного оруденения // Отечественная геология. – 1995. – № 5. – С. 19–27.
2. Кременецкий А.А. Прогнозно-поисковые геохимические комплексы – ключевое направление формирования резервного фонда недр России // Разведка и охрана недр. – 2004. – № 11. – С. 15–20.
3. Баранов Э.Н. Геохимические поля выноса рудообразующих систем // IV Междунар. симп. по проблемам прикладной геохимии: Тез. докл. – Т. 1. – Иркутск: Лисна, 1994. – С. 75–76.
4. Соколов С.В. Структуры аномальных геохимических полей и прогноз оруденения. – СПб.: Наука, 1998. – 154 с.
5. Goldberg J.S., Abramson G., Los V.L. Depletion and enrichment of exploration for mineral deposits // Geochemistry Exploration, Environment Analysis. – 2003. – V. 3. – P. 281–293.
6. Лось В.Л. Теоретические, методические и технологические основы прогноза рудных объектов // Геонауки в Казахстане. – Алматы: Казгео, 2004. – С. 228–239.
7. Ганжа Г.Б., Ганжа Л.М. Золото-битумная минерализация в черносланцевой толще, Центральная Колыма // Руды и металлы. – 2004. – № 4. – С. 24–32.
8. Бадалов С.Т. Геохимические особенности рудообразующих систем. – Ташкент, 1999. – 143 с.
9. Гамянин Г.Н., Горячев Н.А., Бахарев А.Г. и др. Условия зарождения и эволюции гранитоидных золоторудно-магматических систем в мезозоидах Северо-Востока Азии. – Магадан: СВ КНИИ ДВО РАН, 2003. – 196 с.
10. Парада С.Г. Условия формирования и золотоносность черносланцевых комплексов Амуро-Охотской складчатой области: Автореф. дис. ... доктора геол.-мин. наук. – Ростов-н/Д: Ростовский государственный университет, 2004. – 48 с.
11. Степанов В.А. Зональность золото-кварцевого оруденения Центральной Колымы. – Владивосток: Дальнаука, 2001.– 70 с.
12. Лобанов М.П., Синцов А.В. Сизых В.И. и др. О генезисе продуктивных «углистых» сланцев Ленского золотоносного района // Доклады РАН. – 2004. – Т. 394. – № 3. – С. 360–363.
13. Кучеренко И.В. Петрогеохимические особенности рудообразования в сланцевых толщах // Разведка и охрана недр. – 1986. – № 12. – С. 24–28.
14. Кучеренко И.В. О совершенствовании системы опробования при картировании метасоматических образований в золотоносных районах сланцевого типа // Рудоносные метасоматические формации Урала: информационные материалы. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. – С. 63–64.
15. Кучеренко И.В. Методические аспекты геохимических исследований в терригенных углеродистых сланцевых толщах // Теория и практика геохимических поисков в современных условиях: Тез. докл. IV Всес. совещ., г. Ужгород, октябрь 1988 г. – Т. 2. – М.: ИМГРЭ, 1988. – С. 58–59.
16. Кучеренко И.В. Геохимические выборки в оценке структуры и природы геохимических полей в сланцевых толщах // IV Междунар. симп. по проблемам прикладной геохимии: Тез. докл. – Т. 1. – Иркутск: Лисна, 1994. – С. 31–32.
17. Кучеренко И.В. Золото, серебро, ртуть в золотоносных апогнейсовых и апосланцевых околорудных метасоматических ореолах березитовой формации // Известия Томского политехнического университета. – 2000. – Т. 303. – № 1. – С. 161–169.
18. Кучеренко И.В. К методике формирования выборок для расчета статистических параметров распределения и баланса химических элементов в околорудном пространстве гидротермальных месторождений золота // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 2. – С. 23–30.
19. Лось В.Л., Гольдберг И.С. Рудообразование как самоорганизационный процесс перераспределения металлов // Геология и минерагения Казахстана. – Алматы: Казахстанское геологическое общество «Казгео», 2000. – С. 116–129.
20. Кучеренко И.В., Миков А.Д., Геря Т.В. и др. Тектонические факторы рудообразования и элементы минеральной зональности в одном из кварцево-жильных месторождений золота Восточной Сибири // Вопросы структурной геологии / Под ред. А.И. Родыгина. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1987. – С. 28–41.
21. Андреева Е.Д., Баскина В.Д., Богатиков О.А и др. Магматические горные породы. Классификация, номенклатура, петрография. Ч. 1. – М.: Наука, 1985. – 367 с.
22. Кучеренко И.В. Околорудный метасоматизм как критерий генетической однородности мезотермальных золотых месторождений, образованных в черносланцевом и несланцевом субстрате // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 1. – С. 9–15.